

Propuesta didáctica basada en la investigación dirigida: la importancia del agua subterránea en el caudal de los ríos

Teaching proposal based on guided research: the importance of groundwater in river flow

GRACIA FERNÁNDEZ FERRER¹ Y FRANCISCO GONZÁLEZ GARCÍA²

¹ IES Alonso Cano, Consejería de Educación, Junta de Andalucía, c/Calle de Blas Infante, 28, 18650, Dúrcal, Granada. E-mail: geagr@hotmail.com

² Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada, Campus de Cartuja, 18071, Granada. E-mail: pagoga@ugr.es

Resumen Este trabajo muestra la metodología didáctica y actividades llevadas a cabo con estudiantes de secundaria para intentar superar la dificultad de entendimiento relativa a la descarga subterránea que alimenta el caudal de los ríos. Se sigue el modelo de enseñanza por investigación dirigida, según el cual el alumnado sigue los pasos del proceso investigador orientado por el docente. Se plantea la necesidad de realizar actividades prácticas, como medir el caudal de un río del entorno cercano al alumnado y cotejar los datos con las precipitaciones de su cuenca, para favorecer la evolución de los esquemas de conocimiento y así contrastar la importancia desempeñada por el agua subterránea en el ciclo del agua.

Palabras clave: Agua subterránea, descarga, caudal de un río, investigación dirigida.

Abstract *This paper looks at the teaching methodology and activities carried out with high school students to overcome the difficulty of understanding how groundwater discharge feeds into river flow. A model of guided research is followed, through which the student follows the steps of the research process with guidance from the teacher. The need for practical activities is examined, such as measuring river flow in an environment close to the students and comparing the data with its basin rainfall, with a view to developing their knowledge and highlighting the importance of groundwater in the water cycle.*

Keywords: *Groundwater, discharge, river flow, guided research.*

INTRODUCCIÓN

Existen muchas razones para incluir el agua subterránea en la cultura científica básica de los ciudadanos, y por tanto, de interés para ser tratada en la enseñanza obligatoria. Entre ellas podemos citar su integración en el ciclo del agua (Rebollo y Martín-Loeches, 2007), su abundancia en relación a la superficial susceptible de ser explotada (Shiklomanov, 1997) y el mayor tiempo de residencia en su reservorio (López et al., 2001), que la convierten en un recurso valiosísimo para resolver problemas de abastecimiento en períodos de sequía y situaciones conflictivas (Llamas 2007, 2008a y 2008b). Por otro lado, también podemos destacar su dimensión ética, el sentimiento, bienestar natural y poder de evocación, como reclama la Nueva Cultura del agua (Moyano, 2002). En este sentido el agua subterránea, en su descarga al exterior a través de manantiales, enmarca la identidad de paisajes particulares con singular belleza, acopiando leyendas, historietas y tradiciones de los lugareños.

Estudios previos muestran como los estudiantes y ciudadanos en general tienen ideas erróneas en relación al agua subterránea, tales como el desconocimiento de su funcionamiento y localización (Yus, 1994; Dickerson y Dawkins, 2004; Dickerson et al., 2005; Márquez y Bach, 2007; Fernández-Ferrer y González, 2010b), su olvido dentro del ciclo del agua (Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005; Dickerson y Callahan, 2006; Dickerson et al., 2007), el ocultismo o su asociación a algo mágica y extraordinario de tal modo que aún se recurre al zahorí para alumbrairlas (López et al., 2001; Fernández-Ferrer y González 2010a), el hidromito de su vulnerabilidad o pensamiento de que todo pozo se seca o saliniza por lo que los recursos subterráneos no deben utilizarse en demasía (Custodio y Llamas, 1997; Llamas, 2007, 2008a y 2008b) y la hidroesquizofrenia o desvinculación para la gestión del agua superficial y la subterránea (Pastor, 2004; Llamas 1974, 2008a y b).

Al indagar en las causas de estas ideas erróneas, encontramos que las razones de base pueden ser,

su escasa presencia en el currículo oficial y las dificultades de entendimiento de un fenómeno oculto a la vista, que requiere un nivel de abstracción muy alto (Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005). Por otro lado, diferentes estudios muestran como los estudiantes tienen dificultades para adquirir conceptos previos asociados y necesarios para el entendimiento en conjunto del agua subterránea, tales como el de porosidad, permeabilidad y flujo subterráneo (Bach y Brusi, 1990; Cortés-García y San Román, 2006; Calvo et al., 2007; Nebot, 2007; De Miguel et al., 2007), o las dificultades de visualización espacial de las formaciones geológicas o el desconocimiento de la procedencia del agua subterránea y superficial, así como la desvinculación entre ambas (Fernández-Ferrer y González, 2010c).

Desde los primeros tiempos de la cultura griega hasta el siglo XVII, fue admitida de manera axiomática y general la procedencia marina del agua subterránea, así como la impermeabilidad de la superficie terrestre (Martínez-Gil, 2002). En la obra de Palissy, 1580, titulada "Discours admirable de la Nature des Eaux et Fontaines", se plantea por primera vez que las aguas de los manantiales y pozos provienen de las precipitaciones, hecho demostrado empíricamente durante el siglo XVII, por Perrault, Mariotte y Halley (Custodio y Llamas, 2001). Estudios previos muestran que existen ideas superadas en el pensamiento de los estudiantes en relación a la procedencia marina del agua subterránea, aunque hay casos que aún las mantienen (Silva y Amador, 2002), extendiéndose incluso al pensamiento popular. En cambio, sí existe cierto paralelismo entre el pensamiento histórico y el de los estudiantes, en cuanto a la impermeabilidad aparente de la superficie terrestre, incapaz de favorecer la infiltración de las mismas, así como a la importancia del agua subterránea para alimentar el caudal de los ríos (Fernández-Ferrer y González, 2010c).

Es precisamente este último aspecto, relativo a la recarga subterránea que alimenta el caudal de los ríos, el que vamos a tratar en este trabajo. Partiendo de la idea de que las aguas subterráneas y las superficiales están profundamente ligadas, de tal forma que, gran parte de las subterráneas verán la luz en su salida por manantiales mientras que las superficiales podrán perderla, al infiltrarse a su paso por materiales permeables (Castillo-Martín, 2002). La conexión entre el agua superficial y subterránea es tan íntima que, por ejemplo, la mayoría de los investigadores utilizan flujo base de un río y descarga de agua subterránea como si fueran sinónimos, debido a que es la fuente más común que lo alimenta (Price, 2003). En el trabajo presentamos una propuesta didáctica con estudiantes de secundaria para lograr superar las dificultades planteadas, y con ello contribuir al conocimiento del agua subterránea como recurso capaz de mantener ecosistemas de gran valor ecológico.

METODOLOGÍA

Los autores de este trabajo estudiaron durante diferentes cursos académicos, en el contexto de una tesis doctoral (Fernández-Ferrer, 2009), las estrate-

gias didácticas y actividades de enseñanza-aprendizaje, que partiendo de las ideas previas del alumnado, podían ser más adecuadas para favorecer un aprendizaje significativo del alumnado de primer curso de secundaria del Centro Público Rural Valle Verde (Otívar, Granada) en relación al agua subterránea, integrada dentro del ciclo del agua.

Siguiendo las tendencias internacionales actuales de promover la aplicación y uso del aprendizaje por investigación en matemáticas y ciencias, valga el ejemplo del proyecto PRIMAS (<http://www.primas-project.eu/en/index.do>), incluido en el VII Programa Marco de la Unión Europea, se planteó la posibilidad de utilizar el método de enseñanza por investigación dirigida para favorecer la evolución de las ideas previas del alumnado en la temática objeto de estudio.

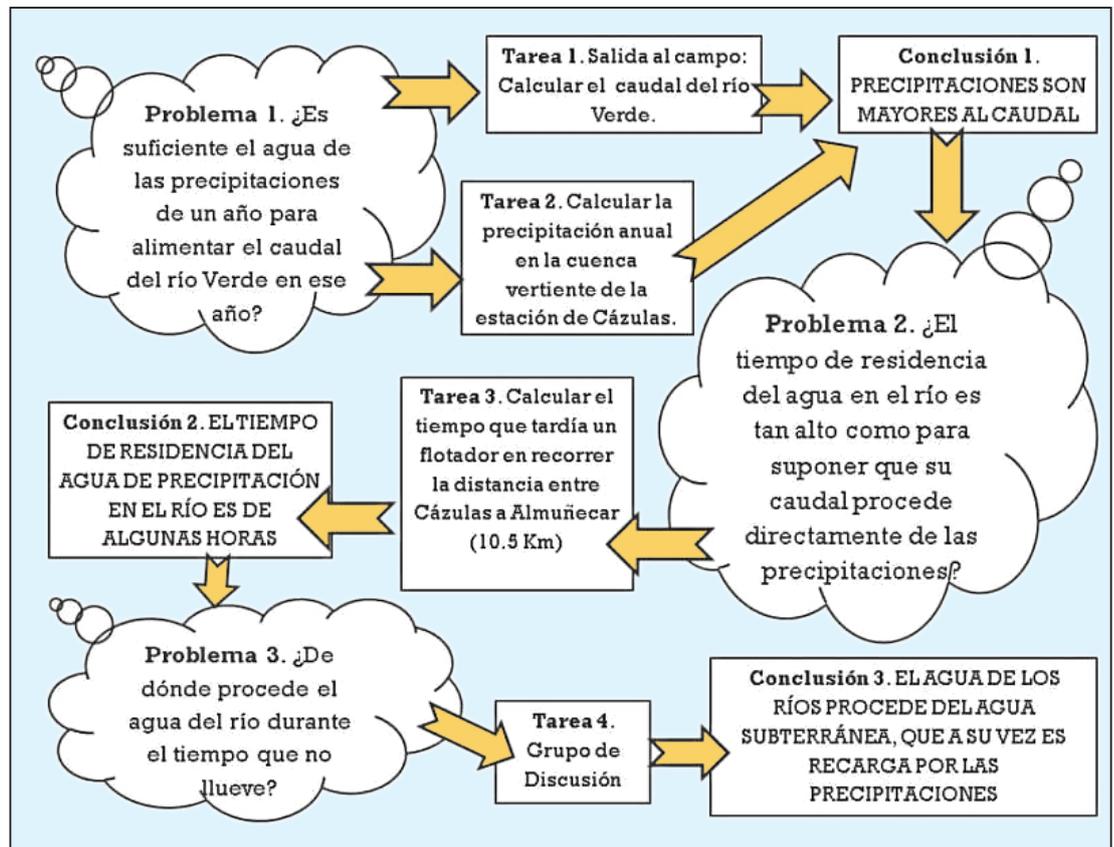
Se destaca, por otro lado, que en el marco teórico de la Didáctica de las Ciencias, el método por investigación dirigida no es novedoso. Ya en los 90 autores como Gil-Pérez, lo recogían como un método de enseñanza adecuado para lograr hacer protagonista al alumnado en la construcción de su propio aprendizaje al plantear la resolución de problemas como un proceso de investigación (Gil-Pérez y Valdés, 1996), al tiempo de ser coherente con las aportaciones de Vygostki, sobre la zona de desarrollo próximo, el papel del adulto en el aprendizaje y la interacción (Gil-Pérez et al., 1999). Este modelo de enseñanza propone la metáfora del "investigador novel" con la que se sumerge al alumnado en un proceso de investigación dirigida (Gil-Pérez, 1993) por el "investigador experto" o docente.

El método de enseñanza por investigación dirigida se conforma en torno a un proceso consistente en el planteamiento de un problema, formulación de hipótesis, verificación de las mismas a través de actividades, reflexión y concreción de conclusiones, que serán el detonante de la formulación de un nuevo problema a resolver. En dicho proceso, la relación entre el docente y discente se estructura en torno a un "contrato didáctico" en el que de forma explícita, ambos intercambian sus opiniones, comentan sus necesidades para resolver los problemas planteados y deciden la forma de llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la reflexión.

En la experiencia que describe este trabajo, referida a la propuesta didáctica para intentar superar el entendimiento de la recarga subterránea que alimenta el caudal de los ríos, el docente como experto, propone actividades para resolver los problemas, que surgen de las ideas previas y poco evolucionadas del alumnado, y constituyen el cuerpo experimental que favorecerá la verificación de las hipótesis. El discente las asume al considerarlas adecuadas para resolver sus interrogantes, pero sin perder su participación activa en su aprendizaje.

Para encuadrar la temática del agua subterránea se buscó un eje introductor de los contenidos, indagando en el registro histórico de la hidrogeología. Partiendo del problema de la procedencia del caudal de los ríos y del agua subterránea, se planteó al alumnado el siguiente interrogante, enmarcado en el entorno del río Verde, lugar donde se asienta el

Fig. 1. Proceso investigador seguido según el modelo de enseñanza por investigación, mostrando los tres primeros problemas planteados.



centro de enseñanza en el que se aplicó el estudio: *¿Es suficiente el agua de las precipitaciones de un año para alimentar el caudal del río Verde en ese año?* Tras un tiempo de discusión en gran grupo se concluyó que la mayor parte del alumnado pensaba que el caudal del río a lo largo de un año era mayor a las precipitaciones en su cuenca vertiente en ese tiempo. Para verificar esta hipótesis se acordó, a partir de la propuesta del docente, llevar a cabo dos actividades, como se muestra en la figura 1. Una consistió en la salida al campo para hacer las mediciones correspondientes y calcular el caudal del río Verde, de igual modo a como hizo Perrault con el caudal del río Sena (Custodio y Llamas, 2001). Y la otra, en calcular las precipitaciones anuales en la cuenca vertiente del lugar de medida del caudal, esto es, en las inmediaciones de la estación de aforo de Cázulas. Tras obtener y cotejar los datos se llegó a la conclusión de que las precipitaciones eran mayores al caudal del río en un año, por lo que efectivamente éstas podían explicar el caudal del río durante ese tiempo.

Tras esta primera conclusión, en gran grupo se planteó un segundo problema: *¿El tiempo de residencia del agua en el río es tan alto como para suponer que procede directamente de las precipitaciones?* El alumnado supuso mayoritariamente que ese tiempo sí era suficiente para que el río llevara agua todo el año, aunque llevase muchos meses sin llover. Para verificar la hipótesis el docente planteó la actividad tercera consistente en calcular el tiempo que tarda supuestamente un flotador en recorrer la distancia entre Cázulas (lugar de medida en las actividades previas) y Almuñecar (lugar de desembocadura del río en el mar). Al realizar los cálculos se

concluyó que el tiempo que tardaba el flotador era muy corto, por lo que el agua que alimentaba constantemente el río debería proceder de otro medio, probablemente del agua subterránea y no directamente de las precipitaciones en tiempo real.

En este trabajo desarrollamos la fundamentación teórica de las tres actividades relativas al cálculo del caudal del río, de las precipitaciones y tiempo de residencia del agua en el río. Las dos primeras se inspiran en la experiencia que realizó Pierre Perrault en 1647 (Custodio y Llamas, 2001), midiendo las precipitaciones en la cuenca alta del Sena y los afloros del río, concluyendo que las mismas eran seis veces superiores a las aportaciones del río.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LAS ACTIVIDADES

Actividad 1. Salida al campo para calcular el caudal del río

El caudal de un río es el volumen de agua que avanza en una unidad de tiempo. Un método sencillo para calcularlo consiste en medir el tiempo que tarda un flotador en recorrer un tramo determinado de río, conociendo a su vez la sección o corte transversal al cauce. De este modo, se necesitan medir previamente cuatro magnitudes, la profundidad, el ancho, la longitud y el tiempo.

En nuestra experiencia elegimos un tramo de río de 20 metros de longitud, lo más rectilíneo posible, representado en la figura 2 con los puntos A y B de la imagen 1, y fue repartido el alumnado en grupos de cuatro, para hacer las correspondientes

mediciones. La profundidad del río fue determinada utilizando una plomada sujeta a un hilo que se dejó caer en diferentes puntos, calculando posteriormente la media de las distintas medidas, siendo la misma de 0,35 metros. Después se procedió con el ancho del cauce, deslizándose una cinta métrica entre ambos márgenes del río y obteniendo una medida de 1,20 metros. Por último, utilizando cronómetros se hicieron las estimaciones del tiempo que tardó un flotador en ir desde A a B, resultando la media de 25 segundos.

Con el método del flotador se cometen diferentes errores, algunos de los cuales se obviaron en la práctica, pero no por ello consideramos necesario hacer mención de los mismos al alumnado. Los errores son los siguientes:

- La velocidad del agua no es la misma en todos los puntos, ni en la vertical ni en la horizontal, debido al rozamiento de orillas, fondo y aire, como se observa en las imágenes 1 y 2 de la figura 3. Es por ello que, para evitar el error cometido con un flotador, los hidrogeólogos utilizan un molinete, que al tiempo de dar una medida más fiable, permite comprobar si la velocidad cambia en la sección.

- En la experiencia de multiplicar longitud, ancho y profundidad para obtener el volumen de agua que pasa por una sección del río, se está determinando el volumen de un prisma que es totalmente ficticio en la mayoría de los casos, dado que el cauce del río no presenta esa geometría, como puede apreciarse en las figuras 2 y 4. Es por ello que deberíamos hacer más cálculos para eliminar en alguna medida este error. Una manera de hacerlo es sumando la superficie de los dos triángulos obtenidos de dividir el cauce en dos mitades (figura 4), alcanzando una sección del río algo más fiable. En nuestra experiencia y por motivos de simplificación, no llegamos a calcularlos.

- Se deben hacer varias medidas del tiempo que tarda el flotador en recorrer la longitud A y B, pudiendo hacer la media de estos.

Para finalizar la experiencia, se calcula el caudal instantáneo, multiplicando los datos medidos de profundidad, ancho y longitud, y dividiéndolos por el tiempo que tardó el flotador en ir desde A a B, resultando en nuestra experiencia de 0,336 m³/s. Dicho dato será extrapolado a un año para conocer el caudal anual medio, siendo además aconsejable hacer el cambio a unidades más apropiadas como hectómetros cúbicos, obteniendo según nuestros datos 10,60 hm³/año para el río Verde.

A lo anterior añadimos otra posible tarea consistente en comparar el dato de caudal anual medio calculado por el alumnado mediante la extrapolación, con el arrojado por una estación de aforo próxima, en el supuesto de que exista y de que se pueda acceder al dato. En caso de ser posible, la comparación podría encaminar un estudio de por qué existen posibles variaciones y, en su caso, profundizar en la determinación de los errores de medida cometidos.

Por último destacamos, que en el caso de la estación de Cázulas, no se tuvo acceso al caudal anual medio para el río Verde. Por otro lado, indicar que la variación de caudal medio anual difiere bastante en función de las precipitaciones anuales, así como el caudal instantáneo, que también dependerá del

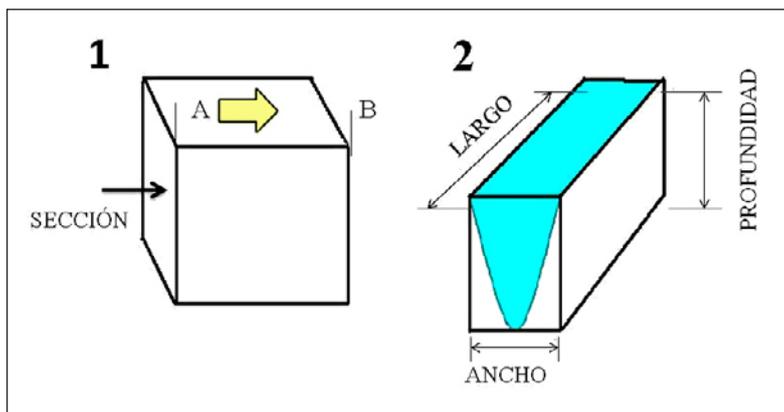


Fig. 2. Prismas idealizados del río obtenidos al acotar dos puntos (A y B) y que representa el volumen de agua que circula a través de una sección.

mes en el que se haga la medición. De este modo, la extrapolación que hacemos desde el caudal instantáneo medido en noviembre del año hidrológico 2009/2010 al caudal medio anual, también está sesgada por errores importantes, que debemos destacar al alumnado. En contrapartida aportamos el dato de un caudal medio de 10868 m³/día, esto es, aproximadamente 3,97 hm³/año, bastante inferior al medido en nuestro estudio, que extraemos de García-Aróstegui et al. (2001).

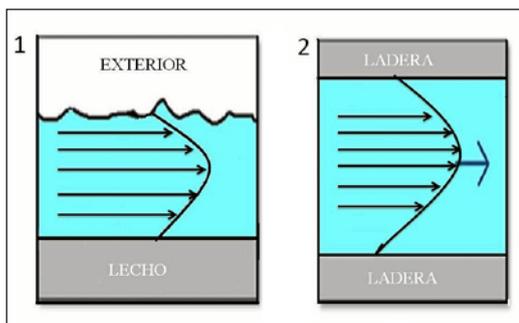


Fig. 3. Diferentes velocidades de flujo en la profundidad (imagen 1) y en el ancho del cauce (imagen 2).

Actividad 2. Calcular las precipitaciones en la cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es el espacio delimitado por la línea de cumbres que une todas las cabeceras que forman un río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que descarga sus aguas al mar o lago endorreico a través de un único río. La línea de cumbres, también llamada divisoria de aguas, se refiere exclusivamente a las aguas superficiales, excluyendo a

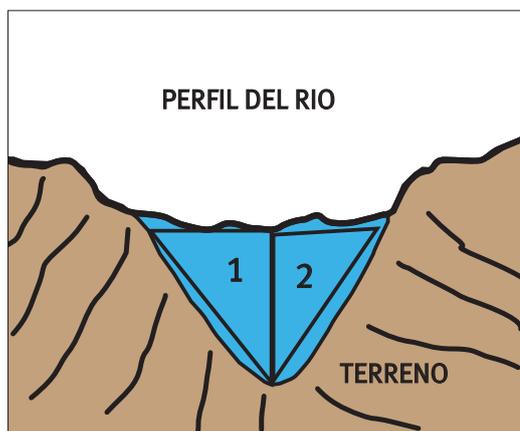


Fig. 4. Perfil del río dividido en dos triángulos.

las subterráneas, por lo que un término más amplio que englobaría a ambas es el de cuenca hidrológica.

La cuenca hidrográfica del río Verde, objeto de nuestro estudio, tiene una extensión de 105 km² y un perímetro de 56 km, siendo la precipitación media anual en la misma de 646 l/m² o mm. Se observó durante la experiencia que el alumnado tenía bastantes dificultades para comprender que las precipitaciones se puedan expresar tanto en l/m² como en mm, correspondiendo ambas a la misma cantidad. Es por ello, que previamente se explicó su significado, entendiéndose que si en un metro cuadrado se vierten 636 litros de agua, se levanta una columna de agua de 636 mm.

El dato de la precipitación media anual se puede obtener en el caso de la cuenca del río Verde, en la web http://hidrosur.agenciaandaluzadelagua.es/webgis2/portada_1.html, donde aparecen los datos para la estación de aforo de Cázulas, lugar exacto donde se realizó la medida del caudal del río. De este modo, se instó al alumnado a buscarlo, e incluso a calcular la media de precipitaciones desde el año hidrológico (desde octubre a septiembre) 94/95 al actual. Posteriormente, en el aula se extrapoló la cantidad obtenida a los 105 km² de la cuenca, obteniéndose el total de litros de agua que durante un año se precipitan sobre el total de la cuenca hidrográfica.

El dato obtenido para el total de la cuenca hidrográfica del río Verde no es el que utilizamos para nuestro estudio, sino las precipitaciones extrapoladas para el área de cuenca vertiente (43 km²) que hay aguas arriba de la estación de Cázulas (Fig. 5). Esto es así porque estamos intentando comparar el volumen de precipitaciones con el caudal que pasa por ese punto en un año, y partimos de la premisa de

que toda gota de agua caída en ese sector de cuenca vertiente por encima de Cázulas pasaría por allí.

Un dato a tener en cuenta es que en la cabecera de un río las precipitaciones son algo mayores que en la desembocadura, por lo que suponemos que la precipitación media anual en Cázulas, debe ser un poco menor a la de cabecera. No obstante, dado que la cuenca es muy pequeña, en la práctica consideramos la precipitación en Cázulas como la media de toda la cuenca vertiente por encima de la estación.

El resultado obtenido con esta actividad fue de 27.78 hm³/año. Al compararlo con el de la actividad anterior, el alumnado puede observar que las precipitaciones son muy superiores al caudal del río, aunque las mismas no sean continuas en el tiempo.

Actividad 3. Calcular el tiempo de residencia de una gota de agua en el río

A partir de la actividad 1, donde se obtuvo que el flotador tardó en la distancia de 20 metros una media de 25 segundos, se puede hacer una estimación aproximada del tiempo que tarda un flotador en recorrer los 10.5 km que distan desde la estación de Cázulas a Almuñecar, lugar donde desemboca en el mar el río Verde y, con ello, conocer el tiempo aproximado de residencia del agua en el río. Al hacer los cálculos con nuestro grupo, se obtuvo que el tiempo que tardaría sería de 3 horas 38 minutos y 45 segundos, por lo que se planteó al alumnado la imposibilidad de que el agua del río Verde, siempre con un caudal base, procediera únicamente de las precipitaciones, debido a que éstas no son constantes en el tiempo.

En esta actividad también habría que aclarar al alumnado, que esta aproximación sobre la veloci-

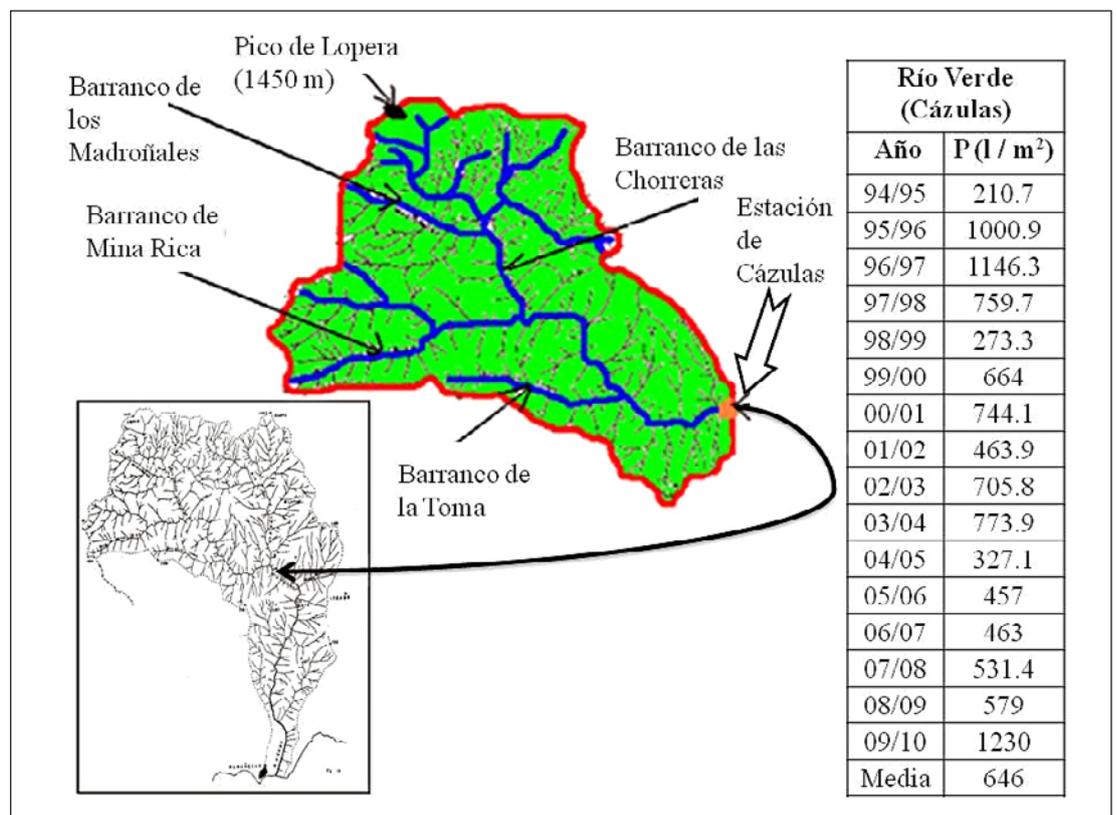


Fig. 5. Datos representativos de la situación de la cuenca vertiente de la Estación de Cázulas y precipitaciones medias anuales.

dad de flujo puntual en este trayecto puede variar en la realidad a lo largo de dicho recorrido, incluso disminuir hacia la desembocadura.

ALGUNAS REFLEXIONES FINALES

La investigación dirigida, tal y como la exponemos en este trabajo, estimula la autonomía intelectual del alumnado, al ofrecer la oportunidad de contrastar sus ideas consigo y con las de otros, antes, durante y después del proceso, de tal forma que va elaborando un conocimiento interiorizado y evolucionado. De este modo, el docente no ofrece respuestas cerradas, dirige el proceso como experto y crea las pautas educativas necesarias para estimular dicha autonomía intelectual, proponiendo preguntas y actividades que partiendo de los esquemas de conocimientos previos del alumnado los lleven a evolucionar a otros más acordes con el pensamiento científico actual.

Por otro lado, consideramos que las tareas expuestas contribuyen al desarrollo de las competencias básicas de la Educación Secundaria, destacando entre otras:

1. *Competencia en razonamiento matemático*, mediante la utilización del lenguaje matemático para expresar o cuantificar los resultados de mediciones en las salidas al entorno, reconociendo el interés de llevarlas a cabo de modo correcto y valorando la importancia de cometer el mínimo error de medida, así como la posterior comparación e interpretación utilizando tablas y gráficos.
2. *Competencia en la interacción con el medio físico y natural*, mediante la familiarización con el trabajo científico para el tratamiento de situaciones de interés, comprobando cómo se planifican pequeñas investigaciones, siguiendo el método científico (problema, formulación de hipótesis, planteamiento de experimentos y determinación de conclusiones).
3. *Competencia para la autonomía e iniciativa personal*, mediante la participación activa en los grupos de discusión, respetando las opiniones de los demás y argumentando las propias, manteniendo un espíritu crítico y de confianza en sí mismos, afrontando los problemas y aprendiendo de los errores, así como, respetando las normas de seguridad y conservación de los materiales de trabajo.

Para un conocimiento acertado y más profundo de la importancia, localización y funcionamiento del agua subterránea, entendemos que las actividades expuestas en este trabajo deban ser completadas con otras centradas en problemáticas que surjan de las ideas previas del alumnado. En este sentido, y a modo de ejemplo, planteamos los siguientes interrogantes: *¿Por dónde sale el agua subterránea que alimenta al río? ¿Por dónde entra el agua de las precipitaciones al medio subterráneo? ¿Dónde se localiza el agua subterránea en el interior de la tierra? ¿Cómo funciona el agua subterránea en el interior de la tierra?* Para resolverlos proponemos la revisión de estudios previos donde se plantean actividades que consideramos adecuadas (Bach y Brusi, 1988; Calvo

et al., 2007; Nebot, 2007; De Miguel et al., 2009), así como destacar la ayuda que aportan las nuevas tecnologías de la información como herramientas importantes para el entendimiento de la disposición espacial de los materiales geológicos a través de juegos educativos, como los facilitados por el Instituto Geológico y Minero de España y que pueden consultarse en http://www.igme.es/internet/divulgacion_didactica/general.htm, o para recabar información sobre los valores de precipitaciones anuales, identificación de pozos, acuíferos, etc.

A modo de conclusión, resaltamos la importancia de tratar adecuadamente el ciclo del agua en la enseñanza obligatoria, y con ello situar en el lugar adecuado al agua subterránea. No obstante, al igual que diversos autores, como Calvo et al. (2007), consideramos la necesidad de tratar estos contenidos a partir de actividades prácticas, a lo que añadimos tres condiciones. La primera, la necesidad de que estén contextualizadas en el entorno próximo del alumnado o en una problemática cercana, para favorecer la aplicabilidad de los aprendizajes, el interés por la investigación y la posibilidad de realizar prácticas de campo, fundamentales en los contenidos de Geología para identificar los diferentes materiales geológicos, propiedades y disposición espacial. La segunda, que estén entrelazadas unas con otras, conformando un cuerpo dinámico y coherente, pudiendo lograr con ello un conocimiento conjunto del ciclo del agua. La tercera, que se sucedan en el tiempo según las necesidades de aprendizaje del alumnado, favoreciendo de este modo la evolución de los esquemas de conocimiento de modo progresivo y significativo.

Por último, destacamos que esta experiencia que integra la investigación dirigida con la medición con los alumnos/as de secundaria del caudal de un río, tiene como objetivo que aprendan pero, sobre todo, se entusiasmen con la Geología. Salir del libro de texto, salir del aula, hacer, manipular, indagar en el propio pensamiento, debatir, “respirar ríos y montañas...” es muy motivador para el alumnado. Experiencias sencillas en un entorno próximo al centro educativo permiten lograr este objetivo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación del alumnado de Secundaria del CPR Valle Verde (Otívar) en la realización de las actividades expuestas, así como a los revisores por sus aportaciones para mejorar este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bach, J. y Brusi, D. (1990). El ciclo de l'aigua. *Perspectiva escolar*, 150, 8-18.
- Ben-Zvi-Assarf, O. y Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
- Calvo, M., Reyero, C., Vidal, M.P., Morcillo, J.G. y García, E. (2007). Trabajo con modelos en aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 341-347.

- Castillo-Martin, A. (2002). *Manantiales*. Ed. Diputación de Granada. Col. Los Libros de la Estrella, 12, 168 pp.
- Cortés-García, A.L. y San Román, J. (2006). *Varias visiones en torno al Agua Subterránea*. En: Educación científica: Tecnologías de la Información y la Comunicación y Sostenibilidad. (Eds.: A.L. Cortés-García y M.D. Sánchez González): Edición digital - CD ROM. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (2001). *Hidrología subterránea*. Tomo I. Omega, Barcelona, 1224 p.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1997). *Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos "Hidromitos" en España*. En: Defensa de la Libertad - Homenaje a Víctor Mendoza, Instituto de Estudios Económicos, Madrid, 167-179.
- De Miguel, J., Lado, J., Martínez, V., Leal, M. y García, R. (2007). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85.
- Dickerson, D y Dawkins, K. (2004). Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52(2), 178-181.
- Dickerson, D.L. y Callahan, T. (2006). Ground water is not a priority. *Ground Water*, 44, 3, 323-332.
- Dickerson, D.L., Penick, J.E., Dawkins, K.R. y Van sicle, M. (2007). Groundwater in science education. *Journal of Science Teacher Education*, 18(1), 45-61.
- Dickerson, D., Callahan, T.J., Sickle, M.V. y Hay, G. (2005). Students' conceptions of Scale Regarding Groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 374-380.
- Fernández-Ferrer, G. (2009). *El agua subterránea: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios y estrategias didácticas para su aprendizaje significativo en estudiantes de secundaria*. Ed. Universidad de Granada, Granada, 685 p. En <http://o-hera.ugr.es/adrastea.ugr.es/tesisugr/18323406.pdf>.
- Fernández-Ferrer, G. y González. (2010a). Zahorí versus hidrogeólogo: lo que piensan los universitarios. En: Actas del XVI Simposio sobre la Enseñanza de la Geología (Eds.: L. Alcalá, L. Mampel). Fundación Conjunto paleontológico de Teruel-Dinópolis, Teruel. *Fundamental*, 16, 101-108.
- Fernández-Ferrer, G. y González, F. (2010b). Modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea en universitarios de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(3) 716-736.
- Fernández-Ferrer, G. y González, F. (2010c). El problema de la descarga del agua subterránea al medio superficial: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 24, 153-169.
- García-Aróstegui, J.L., Heredia, J., Murillo, J.M., Rubio-Campos, J.C., González-Ramón, A. y López-Geta, J.A. (2001). Contribución desde la modelización del flujo subterráneo al conocimiento del acuífero del río Verde (Granada). *Actas del V Simposio sobre el agua en Andalucía*, IGME, Almería, 25-28 de Septiembre.
- Gil-Pérez, D. (1993). Contribución de la Historia y Filosofía de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
- Gil-Perez, D. y Valdés, P. (1996). La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(2), 155-163.
- Gil-Pérez, D., Furió, C., Valdés, P., Salinas, J., Martínez-Torregrosa, J., Guisasaolo, J., González, E., Dumas, A., Goggard, M. y Pessoa, A.M. (1999). ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de la Ciencias*, 17(2), 311-320.
- Llamas, M. R. (1974). Hacia la política hidrológica sin hidroesquizofrenia. *Boletín Geológico y Minero*, 86(1), 93-98.
- Llamas, M. R. (2007). Aguas subterráneas: de la revolución silenciosa a los conflictos clamorosos. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp)*, 101(1), 175-181.
- Llamas, M. R. (2008a). Aspectos éticos de los conflictos del agua en España. *Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fís. Nat. (Esp)*, 102(1), 161-184.
- Llamas, M. R. (2008b). ¿Por qué es todavía tan deficiente la gestión de las aguas subterráneas españolas? Investigación y gestión de los recursos del subsuelo (Eds.: J.A. López-Geta, J. Loredó Pérez, L. Fernández Ruiz y J.M^a. Pernía Llera). *Libro homenaje al Profesor Fernando Pendás Fernández*, 565-582.
- López, J.A., Fornes, J.M., Ramos, G. y Villaroya, F. (2001). *Las aguas subterráneas, un recurso del subsuelo*. Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín, Madrid., 94 p.
- Márquez, C y Bach, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 280-286.
- Martínez-Gil, F. J. (2002). Aspecto histórico y evolutivo de las ideas acerca de las aguas subterráneas desde los tiempos más remotos hasta el nacimiento de la Ciencia Hidrogeológica. Congreso Internacional, sobre gestión del Agua. Sevilla. http://web.usal.es/~javisan/hidro/temas/Ciclo_hidrol.pdf.
- Moyano, E. (2002). La nueva cultura del agua: discursos, estrategias y agentes sociales. *Actas del III Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación de aguas*. Sevilla. En: http://congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevilla-pennenmoyano.pdf.
- Nebot, M.R. (2007). El ciclo del agua en una garrafa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15-3, 333-340.
- Pastor, J. A. (2004). Tiempos de hidroesquizofrenia. *Revista electrónica Eubacteria. Asociación Oficina Verde de la UMA*, 12, 32-33.
- Price, M. (2003). *Agua subterránea*. Ed. Limusa, México, 330 pp.
- Rebollo, L. y Martín-Loeches, M. (2007). Diez preguntas elementales sobre aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15-3, 240-249.
- Shiklomanov, I. A. (1997). *Comprehensive Assessment of the freshwater resources of the world*. World Meteorological Organization, 88 p.
- Silva, M. y Amador (2002). Dos modelos históricos (história da geologia) aos modelos dos alunos. um estudo exploratório sobre os modelos mentais, respeitantes à origem, ao armazenamento e à circulação das águas subterráneas, realizado com alunos do 12º ano do ensino secundário. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), 205-214.
- Yus, R. (1994). Balsas de agua y ríos subterráneos. Representaciones de los alumnos sobre la circulación freática. Su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2, Número Extra 1, VIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología, 76-80. ■

Fecha de recepción del original: 01/02/2013
 Fecha de aceptación definitiva: 30/03/2013